

**1367 - ADIÇÃO DE LITHOTHAMNIUM AO SOLO DE *WETLANDS*
CONSTRUÍDOS TRATANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA:
INFLUÊNCIA SOBRE A REMOÇÃO DE NUTRIENTES**

João Carlos Pinto de Lima ⁽¹⁾

Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Geraldo Di Biase (UGB). Mestrando em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Letícia Vasconcelos Kristen ⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental pela UFRRJ. Bolsista TCT Agro FAPERJ.

Emily Marielle de Oliveira ⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental pela UFRRJ. Bolsista TCT Agro FAPERJ.

Diego Macedo Veneu ⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Severino Sombra (UniVassouras). Doutor em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Alexandre Lioi Nascentes ⁽⁵⁾

Engenheiro Civil e Sanitarista pela UERJ. Doutor em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ. Professor da UFRRJ. Docente Permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental (PGEAAmb/UFRRJ).

Endereço ⁽¹⁾: Rua Nossa Senhora da Conceição, 93C - Tinguá - Nova Iguaçu - Rio de Janeiro - CEP: 26063-420 - Brasil - Tel: +55 (21) 967295895 - e-mail: tg80@ufrj.br

RESUMO

A intensificação da bovinocultura tem elevado a geração de águas residuárias com altas cargas de nutrientes, tornando seu manejo um desafio para o saneamento rural. Dentre as alternativas sustentáveis, os *wetlands* construídos (WC) figuram como soluções baseadas na natureza (SbN) que promovem a remoção de nutrientes de forma eficiente e integrada aos ecossistemas. Este estudo avaliou o desempenho de WC verticais, operando com diferentes proporções de granulado bioclástico (GB) de *Lithothamnium calcareum* misturado à areia, com e sem a presença do capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), no tratamento de efluente oriundo da bovinocultura. Os experimentos foram conduzidos em escala piloto na Fazendinha Agroecológica (SIPA). Foram testadas quatro proporções de GB (0%, 10%, 20% e 30%) em delineamento fatorial 4×2 , totalizando 16 unidades experimentais. Avaliaram-se a evapotranspiração, a eficiência na remoção de demanda química de oxigênio (DQO) e fósforo total. Os resultados indicaram que os sistemas com vetiver apresentaram evapotranspiração média superior (1110,5 mL) em comparação aos sistemas sem a planta (920,6 mL), com menor variabilidade e maior previsibilidade hidráulica. Em relação à DQO, observou-se forte correlação positiva entre a adição de GB e a eficiência de remoção nos sistemas com vetiver ($R^2 = 0,9927$), sugerindo efeito sinérgico entre o substrato e a macrófita. Para o fósforo, embora a remoção tenha aumentado com a proporção de GB, a correlação foi baixa ($R^2 = 0,0659$). Os achados preliminares apontam o GB como potencial adsorvente para aprimorar a eficiência dos WC, especialmente em associação com macrófitas, indicando viabilidade para aplicação em contextos rurais de baixo custo e alto impacto ambiental.

PALAVRAS- CHAVE: Alagado construído, *Lithothamnium calcareum*, granulados bioclásticos, *Chrysopogon zizanioides*, saneamento rural.

INTRODUÇÃO

A gestão das águas residuárias da bovinocultura representa um desafio ambiental significativo devido à elevada carga de nutrientes, cujo descarte inadequado pode desencadear processos de eutrofização e prejudicar a biodiversidade dos corpos hídricos (MARQUES *et al.*, 2020; ALMEIDA, 2016).

Nesse cenário, os *wetlands* construídos (WC), enquadrados como soluções baseadas na natureza (SbN), destacam-se como alternativas sustentáveis e eficazes para o tratamento de efluentes, utilizando processos naturais que, não apenas, promovem a remoção de nutrientes, mas também contribuem para a proteção dos ecossistemas aquáticos (CHEN *et al.*, 2024; KADLEC e WALLACE, 2009).

VIEIRA *et al.* (2024) ressaltam que as SbN atendem às demandas do saneamento rural por meio do uso de tecnologias acessíveis e integradas aos ciclos ecológicos, gerando benefícios ambientais e fortalecendo as condições de vida nas comunidades atendidas. Por sua vez, Marques *et al.* (2021) enfatizam que essas soluções, quando aplicadas em áreas rurais e urbanas, podem reduzir desigualdades no acesso ao saneamento, promovendo equidade e preservação ambiental.

A Plataforma Continental brasileira é coberta por sedimentos carbonáticos passíveis de exploração, tais como as algas marinhas calcárias, pertence à família das Corallinaceas, *Lithothamnium calcareum*, também conhecidas como granulados bioclásticos (GB). Seu uso no meio agrícola não é recente, sendo utilizado tanto na correção de pH do solo, como biofertilizante e como suplementação na alimentação animal. Por apresentar alta porosidade e elevada capacidade adsorptiva, este material vem despertando o interesse para o seu uso como adsorvente no tratamento de águas e efluentes (CALETTI, 2017; CALETTI *et al.*, 2019; PORTELLA *et al.*, 2025; VENEU *et al.*, 2016, 2017, 2019, 2023) e os resultados obtidos por esses pesquisadores indicam elevado potencial para remoção e recuperação de fósforo de soluções aquosas.

Desse modo, a adição do GB ao solo de *wetlands* construídos desponta como uma estratégia promissora para aumentar a eficiência desses sistemas no tratamento de águas residuárias, especialmente com vistas ao incremento da eficiência de remoção de nutrientes.

De acordo com Caletti *et al.* (2019), o granulado bioclástico apresenta elevada capacidade de remoção de fósforo de água e efluentes líquidos, apresentando, portanto, potencial para complementar os processos naturais de purificação dos *wetlands*, potencializando sua capacidade de remoção de nutrientes.

OBJETIVOS

Avaliar a eficiência de *wetlands* construídos no tratamento de efluentes da bovinocultura, utilizando diferentes proporções de granulado bioclástico de *Lithothamnium calcareum* e areia como substrato.

METODOLOGIA UTILIZADA

A pesquisa foi conduzida no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), amplamente conhecido como Fazendinha Agroecológica km 47, situada no município de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro, sob as coordenadas geográficas 22°48'00" S e 43°41'00" W, a uma altitude de 33 metros.

O clima predominante na região, conforme a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Cwa, caracterizado por verões quentes e úmidos e temperaturas amenas no período de inverno. As análises foram conduzidas no Laboratório de Monitoramento Ambiental I – Águas e Efluentes, vinculado ao Departamento de Engenharia do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

A evapotranspiração foi quantificada durante três semanas consecutivas, totalizando 144 registros experimentais, com o objetivo de avaliar o desempenho hídrico de 16 sistemas de *wetlands* construídos verticais.

O estudo da evapotranspiração buscou investigar a influência da presença do capim vetiver no processo de evapotranspiração, bem como a possível interferência de fatores ambientais, como temperatura e umidade

relativa do ar, sobre esse fenômeno. As análises basearam-se em dados diários obtidos ao longo de nove dias de coleta ($n = 144$), provenientes da combinação entre os sistemas e os dias monitorados.

Para cada unidade experimental, foram registrados os volumes de aplicação e drenagem, além dos valores diários de temperatura e umidade relativa. As análises estatísticas foram realizadas no software RStudio, com o intuito de verificar se a presença do vetiver influencia significativamente os índices de evapotranspiração, avaliar a correlação entre as variáveis climáticas e a evapotranspiração, e estimar o volume ideal diário de aplicação de água resíduária, de forma a equilibrar a capacidade de evapotranspiração do sistema com a necessidade de obtenção de amostras líquidas para análises físico-químicas (DQO, nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal e fósforo total).

Inicialmente, a normalidade da variável evapotranspiração foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk, seguida da verificação da homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. A definição do teste estatístico para a comparação entre os grupos “com vetiver” e “sem vetiver” foi baseada nos resultados desses testes preliminares. Como os dados não atenderam aos pressupostos de normalidade e/ou homogeneidade, aplicou-se o teste de Mann-Whitney (Wilcoxon rank sum test), por se tratar de um método não paramétrico adequado à comparação entre dois grupos independentes sem a exigência de distribuição normal.

O experimento foi conduzido segundo um delineamento experimental do tipo fatorial 4×2 , envolvendo quatro proporções distintas de granulado bioclástico de *Lithothamnium calcareum* e areia (0%, 10%, 20% e 30%) como material filtrante (v/v) (SHARMA, SHARMA e MALAVYIA, 2024; SHARMA, SHARMA e KANWAR, 2024), e duas condições experimentais: com e sem a presença de capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), com duas repetições cada, totalizando 16 unidades experimentais.

Os WC foram construídos em bombonas de 50L, utilizando a brita 1 como material suporte.

O experimento foi conduzido em condições controladas para assegurar a repetibilidade dos resultados e reduzir variáveis externas que pudessem influenciar os dados. Para evitar vieses, as unidades experimentais estão organizadas de forma sistemática, com randomização no posicionamento das bombonas.

Para avaliar os efeitos das diferentes proporções de granulado bioclástico e da presença ou ausência de macrófitas nos sistemas de tratamento, foi adotado um delineamento experimental cuidadosamente planejado, cuja organização espacial das unidades pode ser visualizada na Figura 1.

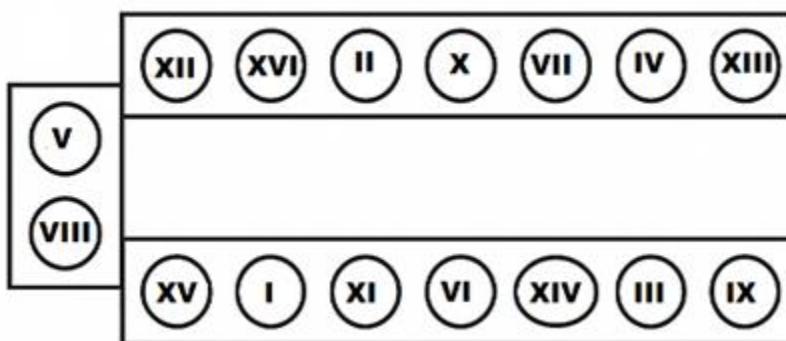


Figura 1 – Representação esquemática do delineamento experimental adotado no estudo.

Controle com vetiver: II e VI; Controle sem vetiver: XIII e XVI;

10% com vetiver: III e XIV; 10% Sem vetiver: VII, IX;

20% com vetiver: X e XII; 20% sem vetiver: V e XV;

30% com vetiver: I e IV; 30% sem vetiver: VIII e XI.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na Figura 2, observa-se a configuração física dos sistemas de *wetlands* construídos utilizados na pesquisa, dispostos em escala piloto. A imagem permite visualizar a organização das unidades experimentais, evidenciando a separação entre os tratamentos com e sem a presença de capim vetiver, sob condições ambientais controladas para garantir a randomização dos ensaios.



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



Figura 2 – Estrutura experimental das wetlands em escala piloto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Utilizou-se granulado bioclástico de *Lithothamnium calcareum* de origem comercial, cuja maior parte se encontra dentro das faixas granulométricas entre +106–150 µm e +210–300 µm, previamente identificadas por Veneu *et al.* (2023) como aquelas que apresentam maior eficiência na remoção de fósforo de soluções aquosas.

A escolha da granulometria visou garantir que o material utilizado como substrato tivesse características consistentes e otimizadas para o desempenho nos wetlands.

Na Figura 3, é possível observar o aspecto visual do granulado bioclástico de *Lithothamnium calcareum*, utilizado como componente do meio filtrante nas diferentes proporções testadas ao longo do experimento.



Figura 3 - Granulado bioclástico de *Lithothamnium Calcareum*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A água residuária da bovinocultura (ARB) foi preparada seguindo o protocolo descrito por Jorge (2013), utilizando uma mistura composta por 70% de água e 30% de esterco bovino fresco raspado de curral do SIPA.

Essa mistura foi armazenada em balde plásticos por um período de 48 horas para garantir a homogeneização antes de sua aplicação nos sistemas. Ao total, para essa primeira etapa do experimento, foram preparadas e utilizadas 96 L de água resíduaria da bovinocultura.

Diariamente, foi adicionada uma quantidade fixa de 2000 mL de ARB a cada unidade experimental, utilizando uma proveta graduada para assegurar precisão. O tempo de detenção hidráulico estabelecido foi de 24 horas, após o qual foram coletadas alíquotas de 80 mL dos efluentes tratados para análises (PAULA *et al.*, 2023).

Na Figura 4, são apresentados os procedimentos adotados na preparação e aplicação da ARB, desde sua homogeneização até a medição do volume destinado a cada WC.



Figura 4 – (A) Água resíduaria da bovinocultura antes e após o período de 48 horas e homogeneização.

(B) Volume de 2000 mL de água resíduaria aplicado em cada wetland construído.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As análises físico-químicas dos efluentes foram iniciadas após 10 semanas do início do experimento, período necessário para a fixação das macrófitas e o estabelecimento de seus sistemas radiculares (SUBTIL, 2018).

Durante essa fase inicial do experimento, foram realizadas três análises, em triplicata, para determinação das concentrações de DQO, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal e fósforo total, conforme metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

O capim vetiver foi escolhido como macrófita devido à sua capacidade comprovada de tolerância a condições ambientais adversas e seu potencial para contribuir na remoção de poluentes através de processos de fitorremediação. As plantas foram monitoradas para assegurar o crescimento saudável e a contribuição efetiva nos processos de purificação, conforme representado na Figura 5.



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



Figura 5 – Monitoramento inicial das mudas do capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) visando garantir o desenvolvimento e a adaptação da macrófita no sistema.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As bateladas diárias de ARB garantiram que cada sistema operasse com uma carga uniforme, permitindo avaliar o impacto das diferentes proporções de substrato na eficiência dos WC.

Essa abordagem metodológica visou, não apenas, avaliar a eficiência das diferentes proporções de *Lithothamnium calcareum* no tratamento de efluentes, mas também contribuir para o desenvolvimento de diretrizes técnicas aplicáveis em sistemas de WC em escala real.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas 144 observações experimentais, sendo 72 para o tratamento "Com vetiver" e 72 para o tratamento "Sem vetiver", foram calculados os índices de evapotranspiração a partir da diferença entre o volume aplicado (2000 mL) e o volume drenado em cada unidade (Equação 1).

$$\text{Evapotranspiração (mL)} = \text{Volume aplicado (2000 mL)} - \text{Volume drenado (mL)} \quad (\text{Equação 1})$$



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



Na Figura 6, apresenta-se uma amostra da organização dos dados obtidos ao longo do experimento, demonstrando a estrutura utilizada para o tratamento estatístico no RStudio, com distinção entre os sistemas com e sem a presença do capim vetiver.

DIA	Sistema	Tratamento	Volume_aplicado_mL	Volume_drenado_mL	Temperatura_C	Umidade_relativa_
1 1	1	Com vetiver	2000	775	33	53
2 1	2	Com vetiver	2000	885	33	53
3 1	3	Com vetiver	2000	765	33	53
4 1	4	Com vetiver	2000	780	33	53
5 1	5	Com vetiver	2000	975	33	53
6 1	9	Sem vetiver	2000	615	33	53
7 1	10	Sem vetiver	2000	0	33	53
8 1	11	Sem vetiver	2000	0	33	53
9 1	12	Sem vetiver	2000	250	33	53
10 1	13	Sem vetiver	2000	0	33	53

Figura 6 – Volumes aplicados e drenados após 24h dos wetlands construídos com e sem capim vetiver.

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A média de evapotranspiração nos sistemas “Com vetiver” foi de 1.110,5 mL ($\pm 390,6$ mL), enquanto nos sistemas “Sem vetiver” foi de 920,6 mL ($\pm 476,5$ mL).

A mediana dos valores reforça esse padrão: 1022,5 mL com vetiver contra 740,0 mL sem vetiver, revelando uma maior consistência no grupo com a macrófita. O valor máximo registrado de evapotranspiração foi de 1985 mL para sistemas com vetiver e de 2000 mL para sistemas sem vetiver, indicando que, em pelo menos uma unidade sem a planta, todo o volume aplicado foi absorvido, evaporado ou retido sem drenagem.

Na Figura 7, são comparadas as distribuições dos valores de evapotranspiração nos sistemas com e sem capim vetiver, evidenciando o padrão de variação observado entre os dois tratamentos ao longo dos dias da análise.

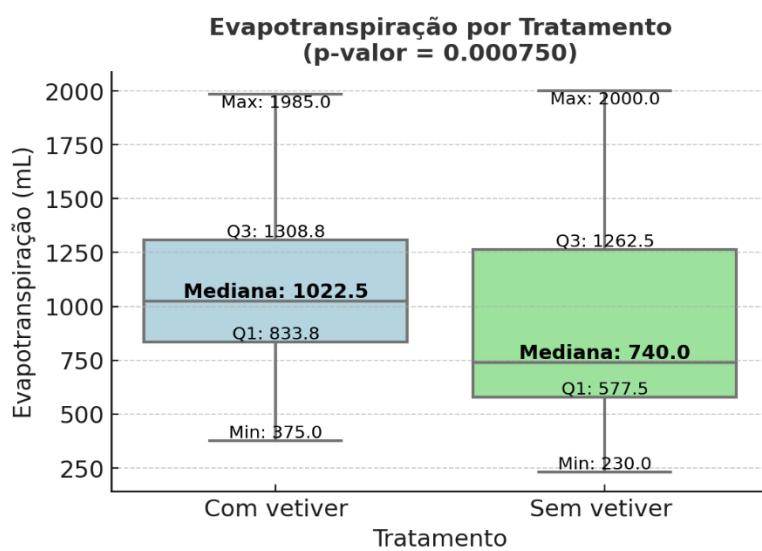


Figura 7 – Boxplot da evapotranspiração nos sistemas com e sem capim vetiver.

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Estudos anteriores já haviam indicado a contribuição significativa da fisiologia das plantas para os processos de evaporação e transpiração em sistemas alagados. Segundo Duarte (2019), a presença de macrófitas influencia diretamente a perda de água nos sistemas alagados, o que corrobora os padrões observados no presente trabalho.

Além disso, o vetiver pode consumir até 6,86 litros de água por quilo de biomassa seca, o que reforça sua contribuição para o aumento da evapotranspiração (MELO, 2017).

A extensão do sistema radicular da planta, que pode atingir profundidades superiores a três metros, permite não apenas maior captação de água, mas também uma distribuição mais uniforme da umidade ao longo do substrato, conforme observado em trabalhos voltados à estabilização de taludes com a mesma espécie (PEREIRA, A. R.; OLIVEIRA, M. V.; NASCIMENTO, G. D.; MELLO, L. A., 2006).

No presente estudo, essa característica do capim vetiver está alinhada com o comportamento hidráulico mais previsível observado nos sistemas com a macrófita, ao passo que os sistemas sem vetiver apresentaram maior variabilidade e ocorrência de drenagens nulas. Embora esse fenômeno específico não tenha sido abordado diretamente na literatura analisada, sua interpretação encontra respaldo na função ecológica atribuída às macrófitas nos sistemas de tratamento por *wetlands* (DUARTE, 2019; MELO, 2017; PEREIRA, A. R.; OLIVEIRA, M. V.; NASCIMENTO, G. D.; MELLO, L. A., 2006).

Os resultados indicam que o capim vetiver, por meio de seu sistema radicular ativo e profundo, contribui para a maior evapotranspiração nos sistemas, além de promover uma distribuição mais homogênea da umidade no meio filtrante. Por outro lado, a ausência da macrófita nos sistemas sem vetiver foi associada a uma maior variabilidade nas respostas hidráulicas, evidenciada tanto por valores extremos de evapotranspiração quanto pela ocorrência de drenagens nulas, sugerindo um comportamento menos previsível no balanço hídrico desses sistemas.

A Tabela 1 apresenta a caracterização da ARB utilizada no experimento para alimentação dos 16 *wetlands* construídos.

Tabela 1– Caracterização da água resíduária da bovinocultura produzida para ser utilizada na alimentação dos 16 *wetlands* construídos sem capim vetiver e com capim vetiver (n=3).

Parâmetro	Concentração (mg/L)	DP (mg/L)
DQO	2451,5	248,0
N Amoniacial (NH₃)	123,0	40,6
Nitrito (NO₂⁻)	3,0	0,7
Nitrito (NO₃⁻)	24,2	6,6
Fósforo Total	377,3	147,9

A Figura 8 apresenta as eficiências de remoção de DQO dos WC com e sem capim vetiver com adição de 0%, 10%, 20% e 30% de GB.

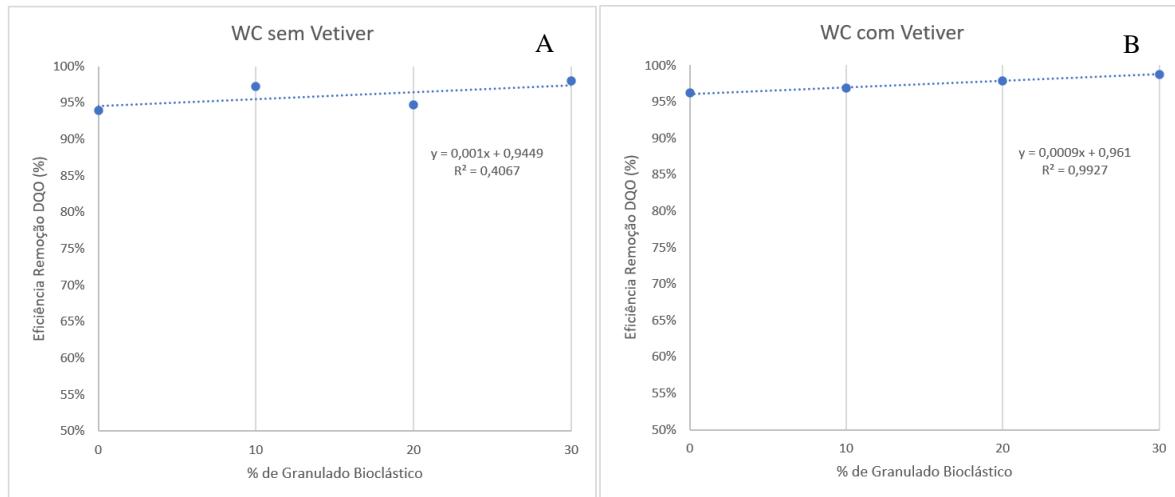


Figura 8 – Remoção de DQO pelos wetlands construídos sem capim vetiver (A) e com capim vetiver (B) com as proporções de granulado bioclástico/areia de 0%, 10%, 20% e 30%.

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O elevado fator de correlação ($R^2=0,9927$) da eficiência de remoção de DQO dos WC com capim vetiver apontam para uma relação direta entre a presença do GB e a eficiência de remoção de DQO dos sistemas, o que não é tão claramente observado nos WC sem o capim vetiver.

Estes resultados podem indicar um efeito sinérgico entre o GB e a macrófita, tendo em vista as propriedades bioestimulantes do *Lithothamnium* relatadas por Sousa *et al.* (2018).

Na Figura 9 são apresentadas as eficiências de remoção de fósforo dos WC com e sem capim vetiver com adição de 0%, 10%, 20% e 30% de GB.

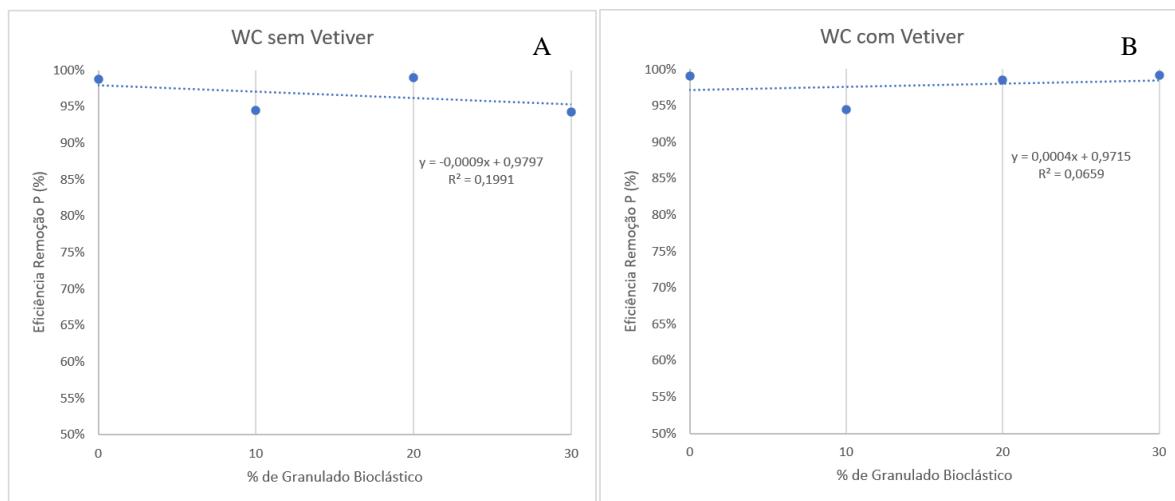


Figura 8 – Remoção de fósforo pelos wetlands construídos sem capim vetiver (A) e com capim vetiver (B) com as proporções de granulado bioclástico/areia de 0%, 10%, 20% e 30%.

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Em relação às eficiências de remoção de fósforo, apesar da correlação positiva entre a remoção de P e a proporção de GB nos WC com capim vetiver, o coeficiente de relação ($R^2=0,0659$) demonstra baixa correlação.

A pesquisa ainda se encontra em fase inicial, prevendo-se mais 6 meses de monitoramento para que resultados mais robustos possam ser obtidos.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Os resultados preliminares deste estudo demonstram que a incorporação de granulado bioclástico de *Lithothamnium calcareum* aos substratos de *wetlands* construídos pode contribuir significativamente para o aprimoramento da eficiência desses sistemas no tratamento de águas residuárias oriundas da bovinocultura. A análise da evapotranspiração demonstrou que a presença do capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) promove um comportamento hidráulico mais estável e previsível, refletido na maior constância dos volumes drenados e na redução de variações extremas. Tal característica reforça o papel das macrófitas como componentes fundamentais na regulação hídrica dos WC.

A adição de GB associada à presença de vetiver resultou em aumento na remoção de DQO, com evidências de interação sinérgica entre substrato e planta, possivelmente decorrente da ação combinada de processos físico-químicos e biológicos. Em relação à remoção de fósforo, embora os dados indiquem um incremento proporcional à adição de GB, a baixa correlação estatística sugere a necessidade de monitoramento por período mais prolongado para validação das tendências observadas.

Diante disso, recomenda-se a continuidade do experimento por ciclos adicionais de operação, com ampliação da base de dados, de modo a permitir inferências mais robustas quanto à eficiência do sistema e à dinâmica de remoção de nutrientes. Sugere-se, ainda, a investigação da interação entre os granulados bioclásticos, o biofilme microbiano e as macrófitas, visando à compreensão aprofundada dos mecanismos que regem os processos de adsorção e fitorremediação.

A adoção de substratos alternativos como o *Lithothamnium calcareum* apresenta-se como estratégia promissora para o desenvolvimento de tecnologias de saneamento rural de baixo custo, alta eficiência e compatíveis com os princípios da sustentabilidade e da economia circular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, GILDA VIEIRA de. Tratamento de água residuária de bovinocultura de leite, utilizando leitos cultivados. 2016. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/13321>. Acesso em: 06 jan. 2024.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23. ed. Washington, D.C.: APHA, 2017.

CALETTI, R. P. K. Eficiência do *Lithothamnium calcareum* na remoção do fósforo de lixiviado de aterro sanitário. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

CALETTI, R. P. K.; NASCENTES, A. L.; OLIVEIRA, P. J.; BATISTA DA SILVA, L. D. (2019). Aplicação do granulado bioclástico no processo de remoção de fósforo dissolvido no tratamento de água e efluentes

líquidos. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020190235780, INPI Instituto Nacional de Propriedade Industrial.

CHEN, Y.; CHEN, Z.; DONG, Y.; WU, H. Enhanced treatment performance and reduction of antibiotic resistance genes of biochar-aeration vertical flow constructed wetland for treating real domestic wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, [S.l.], v. 189, p. 11–20, set. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.06.041>. Acesso em: 06 jan. 2025.

DUARTE, J. B. Avaliação da eficiência de sistemas de alagado construído cultivados com *Typha angustifolia* (Rota 1) e *Cryspogon zizanioides* (Rota 2) no tratamento de águas residuárias de bovinocultura de leite. 2019. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

JORGE, MARCOS FILGUEIRAS. Fertirrigação do tomateiro (*Solanum lycopersicum*) sob manejo orgânico, utilizando água residuária de bovinocultura de leite. 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. *Treatment wetlands*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 1016 p. eBook. ISBN 9780429137952. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781420012514>. Acesso em: 6 jan. 2025.

MARQUES, T. H. N.; RIZZI, D.; FERRAZ, V.; HERZOG, C. P.. Soluções baseadas na natureza para a gestão de águas e saneamento: reflexões e desafios. *Revista USP*, v. 12, n. 3, p. 45-59, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/189419>. Acesso em: 15 jan. 2025.

MELO, A. C. F. Tratamento de água residuária de bovinocultura de leite, utilizando sistema de alagado construído cultivado com capim vetiver (*chrysopogon zizanioides*). 2017. 71 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.

PAULA, R. Q. M.; VENEU, D. M.; SANTOS, F. S.; YOKOYAMA, L.; MAUAD, C. R. Tratamento de efluente de bovinocultura por sistema de wetland construída de fluxo vertical. *Revista Virtual de Química*, v. 15, n. 4, p. 728-740, 2023. DOI: 10.21577/1984-6835.20230009.

PEREIRA, A. R.; OLIVEIRA, M. V.; NASCIMENTO, G. D.; MELLO, L. A. Uso do vetiver na estabilização de taludes e encostas. *Boletim Técnico*, Belo Horizonte: DEFLOR Bioengenharia, ano 1, n. 3, set. 2006. Disponível em: <https://www.deflor.com.br>. Acesso em: 16 jun. 2024.

PORTELLA, A. R.; VENEU, D. M.; SILVA, L. D. B.; NASCENTES, A. L. New perspectives for the use of *lithothamnium calcareum* in the post-treatment of domestic sewage. *RGSA*, v.19, p.e011187, 2025.

SHARMA, M.; SHARMA, N. R.; KANWAR, R. S. Performance analysis of mesocosm-constructed wetland containing agricultural waste-derived substrates for treatment of wastewater. *Environmental Monitoring and Assessment*, [S.l.], v. 196, art. 1220, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13411-6>.

SHARMA, R.; SHARMA, A.; MALAVIYA, P. Textile wastewater remediation in biochar-amended Phragmites-based horizontal flow constructed wetlands. *Journal of Water Process Engineering*, [S.l.], v. 68, 106550, dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106550>. Acesso em: 06 jan. 2025.

SOUSA, E. E. M.; MACHADO, A. C. L. O.; NEPOMUCENO, A. L. O.; FURTADO, M. C. Uso de bioestimulantes na produção de mudas de variedades de *Brassica oleracea* L. *Cadernos de Agroecologia*, v.13, n.1, 2018.

SUBTIL, E. L.; BENASSI, R. F.; COELHO, L. H.; JESUS, T. A. de.. Manual de sistemas de Wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitário: implantação, operação e manutenção. São Bernardo do Campo: Editora UFABC, 2018.

VENEU, D. M., YOKOYAMA, L., CUNHA, O. G. C., SCHNEIDER, C. L., MONTE, M. B. M. Sorption equilibrium studies of Cr (III) by bioclastic granules. *Holos*. v.7, n.32, p.62-77, 2016.

VENEU, D. M., SCHNEIDER, C. L., MELLO, M. B. DE, GALVÃO, O., CUNHA, C., & YOKOYAMA, L. Cadmium Removal by Bioclastic Granules (*Lithothamnium calcareum*): Batch and Fixed-Bed Column Systems Sorption Studies. 3330(May), 2017.

VENEU, D. M., YOKOYAMA, L., GALVÃO, O., CUNHA, C., LUIZ, C., BEZERRA, M., MONTE, D. M. Nickel sorption using Bioclastic Granules as a sorbent material: equilibrium, kinetic and characterization studies. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(1), 840–852, 2019.

VENEU, D. M.; SILVA, G. G. A.; NASCENTES, A. L.; MAUAD, C. R.; YOKOYAMA, L.; MONTE, M. B. M.; CAMPOS, D. V. B. Phosphorus recovery from aqueous solutions using bioclastic granules (*Lithothamnium calcareum*). *Environmental Science and Pollution Research*, v.30, p.71270-71283, 2023.

VIEIRA, J. M. S.; VILLANOVA, L. B.; VALÉRIO FILHO, M.; MENDES, R. M.; HIDE, C. G. Implementação de sistemas descentralizados de esgotamento sanitário com tecnologias baseadas na natureza: vantagens e desafios em zonas rurais, favelas e comunidades urbanas. In: ENGENHARIA sanitária e ambiental: sustentabilidade em ação 3. [S.I.]: Atena Editora, 2024. cap. 3. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/implementacao-de-sistemas-descentralizados-de-esgotamento-sanitario-com-tecnologias-baseadas-na-natureza-vantagens-e-desafios-em-zonas-rurais-favelas-e-comunidades-urbanas>. Acesso em: 15 jan. 2025. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.6472417104>.